

## **INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN SISTEM PANAS BUMI DIWAK DAN DEREKAN BERDASARKAN DATA GRAVITASI**

**Syamsul Ilmi<sup>(1)</sup>, Udi Harmoko<sup>(1)</sup> dan Sugeng Widada<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>(2)</sup> Jurusan Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: syamsulilmi87@gmail.com

### **ABSTRACT**

*Research has been carried out using a gravity method that aims to interpret the subsurface structure of the Diwak - Derekan hot springs area based on the Bouguer anomaly data. It also aims to investigate the geothermal system in the area. The data acquisition was taken using gravimeter Lacoste & Romberg.*

*Data processing had been done with high correction tool, tidal correction, drift correction, gravity absolute correction, gravity theoretical correction, free air correction, Bouguer correction, terrain correction to get the complete Bouguer anomaly. Bouguer anomaly is projected to flat plane and upward continuation is used to separate the regional and residual anomaly. For 2D modelling interpretation by Grav2DC software.*

*The results of study showed the complete Bouguer anomaly contour pair of positive and negative contour indicate a fault zone below the surface. Interpretation is strengthened by the results of the modeling showed a fault of Diwak - Derekan areas trending southwest- northeast. This fault zone is used as a media outlet fluid to the surface of geothermal systems.*

**Keywords:** Gravity Method, 2D modelling, Diwak, Derekan

### **ABSTRAK**

*Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode gravitasi yang bertujuan untuk menginterpretasikan struktur bawah permukaan daerah sumber air panas Diwak-Derekan berdasarkan data anomali Bouguer. Selain itu juga bertujuan untuk menyelidiki sistem panasbumi di daerah tersebut. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan gravitimeter LaCoste & Romberg.*

*Pengolahan data dilakukan dengan koreksi tinggi alat, koreksi pasangsurut, koreksi apungan, koreksi gravitasi mutlak, koreksi gravitasi teoritis, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi medan untuk mendapatkan anomali Bouguer lengkap. Data anomali Bouguer dari hasil koreksi-koreksi metode gravitasi kemudian dibawah kebidang datar selanjutnya dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali lokal dilakukan dengan metode kontinuitas keatas. Interpretasi pemodelan 2D menggunakan perangkat lunak Grav2dc.*

*Hasil penelitian berupa anomali Bouguer lengkap menunjukkan pasangan kontur positif dan kontur negatif yang mengindikasikan adanya zona sesar dibawah permukaan. Penafsiran tersebut diperkuat dengan hasil pemodelan yang menunjukkan adanya sesar di wilayah Diwak-Derekan yang berarah baratdaya-timurlaut. Zona sesar ini merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem geotermal daerah tersebut.*

**Kata kunci :** Metode Gravitasi, Pemodelan 2D, Diwak, Derekan

## **PENDAHULUAN**

Peningkatan kebutuhan energi di dunia akan minyak dan gas bumi sebagai sumber energi yang utama terus meningkat seiring pertambahan waktu. Seiring peningkatan kebutuhan energi dan terbatasnya jumlah produksi minyak dan gas bumi menjadi masalah yang harus dicari solusinya. salah satu cara untuk menyelesaikan

permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan energi panas bumi sebagai energi alternatif pengganti [1].

Energi panas bumi sendiri merupakan energi panas yang terbentuk di bawah permukaan bumi secara alami, dimana energi panas alami yang berasal dari bumi terjebak cukup dekat dengan permukaan dan dapat

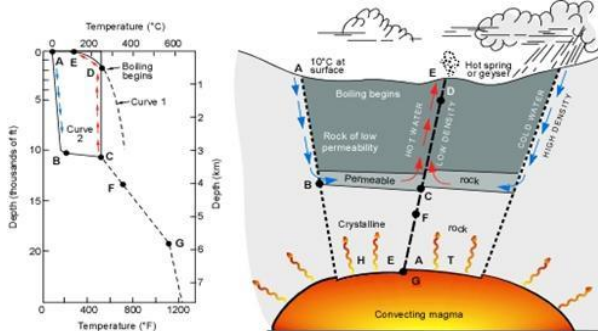
dengan mudah untuk dimanfaatkan secara ekonomis [2].

Penelitian mengenai studi geofisika terpadu di lereng selatan gunung ungaran juga menyatakan Diwak merupakan salah satu lapangan panas bumi [3]. Terdapatnya manifestasi air panas di desa Diwak dan desa derekan memicu untuk dilakukan penelitian tentang interpretasi bawah permukaan menggunakan metode geofisika.

**DASAR TEORI**

**Sistem Panas Bumi**

Fluida panas bumi yang terkandung dalam reservoir hidrotermal berasal dari air permukaan, antara lain air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan dan terpanaskan oleh suatu sumber panas (Gambar 1). Air tersebut akan masuk melalui rekahan-rekahan kedalam batuan permeabel. Apabila disekitar batuan tersebut terdapat sumber panas, maka panas akan dirambatkan melalui batuan (secara konduksi) dan melalui fluida (secara konveksi). Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (bouyancy) [4].



**Gambar 1.** Model Sistem Geotermal [4]

Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi[5].

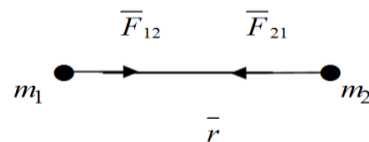
Sistim geotermal mempunyai empat komponen utama, yaitu: (1) Sumber panas (*Heat Source*), (2) fluida, (3) reservoir panas bumi dan (4) batuan penutup (*Cap Rock*) [4].

**Prinsip Gravitasi**

Teori Gravitasi didasarkan oleh hukum Newton tentang gravitasi. Hukum gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak antara pusat massa kedua benda tersebut [6].

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r} \tag{1}$$

dengan  $F_{12}$  adalah gaya yang dialami oleh benda  $m_1$ , dan  $G$  adalah tetapan medan gravitasi.



**Gambar 2** Gaya Tarik Menarik antara  $m_1$  dan  $m_2$  pada Jarak  $r$ .

Gaya persatuan muatan pada sembarang titik berjarak  $r$  dari  $m_1$  didefinisikan sebagai kuat medan gravitasi  $m_1$ . Bila  $m_1$  adalah massa bumi, maka kuat medan gravitasi bumi sering disebut dengan percepatan medan gravitasi bumi, yang dapat dirumuskan sebagai:

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^3} \vec{r} \tag{2}$$

dengan  $M$  adalah massa bumi.

Medan gravitasi merupakan medan konservatif, yang merupakan gradien dari suatu fungsi potensial skalar  $U(\vec{r})$ , sebagaimana berikut:

$$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \tag{3}$$

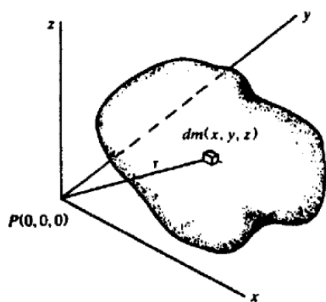
di mana  $U(\vec{r}) = -GM / r$  adalah potensial medan gravitasi bumi.

Potensial medan gravitasi yang disebabkan oleh distribusi massa kontinu (bukan merupakan titik massa) dapat dihitung dengan pengintegralan. Jika massa

terdistribusi secara kontinu dengan densitas  $\rho(\vec{r}_0)$  di dalam volume  $V$ , potensial medan gravitasi pada sembarang titik  $P$  di luar benda adalah:

$$U_p(\vec{r}) = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 r_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (4)$$

Hubungan antara besar percepatan medan gravitasi dan potensial medan gravitasi adalah  $g = |\nabla U_p|$ . Percepatan medan gravitasi bumi bervariasi di permukaan bumi, dan harganya bergantung pada (a) distribusi massa di bawah permukaan, sebagaimana ditunjukkan oleh fungsi densitas  $\rho(\vec{r}_0)$  dan (b) bentuk bumi yang sebenarnya, sebagaimana ditunjukkan oleh batas integral.



Gambar 3 Potensial Massa Tiga Dimensi [7]

### Reduksi Data Gravitasi

Penelaahan tentang konsep reduksi data gravitasi lebih mudah dipahami dengan cara menelaah terlebih dahulu arti anomali medan gravitasi. Anomali medan gravitasi didefinisikan sebagai selisih nilai medan gravitasi yang terukur di topografi atau posisi  $(x,y,z)$  dengan medan gravitasi teoritis di topografi untuk lokasi yang sama. Anomali medan gravitasi ini ditimbulkan oleh adanya kortas densitas dibawah permukaan bumi. Medan gravitasi teoritis yaitu medan yang diakibatkan oleh faktor-faktor non-geologi dan harganya dihitung berdasarkan rumusan-rumusan yang dijabarkan secara teoritis. Nilai Medan ini dipengaruhi oleh letak lintang, ketinggian, dan massa topografi di sekitar titik tersebut. [8].

$$\Delta g(x,y,z) = g_{obs}(x,y,z) - g_{Teoritis}(x,y,z) \quad (5)$$

dengan  $\Delta g(x,y,z)$  merupakan anomali medan gravitasi di topografi, dan  $g_{obs}(x,y,z)$  adalah medan

gravitasi observasi di topografi yang sudah dikoreksikan terhadap koreksi pasang-surut, koreksi tinggi alat dan koreksi drift. Sedangkan  $g_{Teoritis}(x,y,z)$  merupakan medan gravitasi teoritis di topografi.

### METODE PENELITIAN

Metode gravitasi digunakan untuk mengetahui variasi percepatan gravitasi di daerah penelitian. Variasi percepatan gravitasi disebabkan oleh variasi densitas bawah permukaan bumi Metode gravitasi ini digunakan pada studi geothermal karena dapat menjelaskan struktur bawah permukaan dan zona keluarnya fluida panas bumi ke permukaan. Secara lebih rinci digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan sebagai pembentuk sistem panasbumi dan melokalisir daerah anomali rendah yang diduga berkaitan dengan manifestasi panasbumi.

Penelitian dimulai dengan membuat desain survei dengan mengacu informasi geologi daerah penelitian. Setelah membuat desain survei dilanjutkan dengan akusisi data di lapangan. Pada penelitian ini sejumlah 36 titik diukur dengan menggunakan *Lacoste & Romberg G-1118* untuk mendapatkan nilai gravitasi dan *GPS Tremble Navigation 4600LS* untuk mendapatkan data posisi koordinat dan elevasi.

Data yang diperoleh dari lapangan tersebut kemudian dikoreksi terhadap tinggi alat, pasang surut, *drift*, lintang, udara bebas, Bouguer, dan *terrain*, untuk mendapatkan anomali Bouguer lengkap (abl).

Nilai dari abl kemudian dimodelkan. Pemodelan yang dibuat harus memperhatikan segi informasi geologi daerah penelitian. Pemodelan tersebut akan menghasilkan struktur bawah permukaan dari data anomali yang kemudian dilakukan interpretasi. Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur peta kontinuitas ke atas. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan

pemodelan yang di cocokkan dengan informasi geologinya.

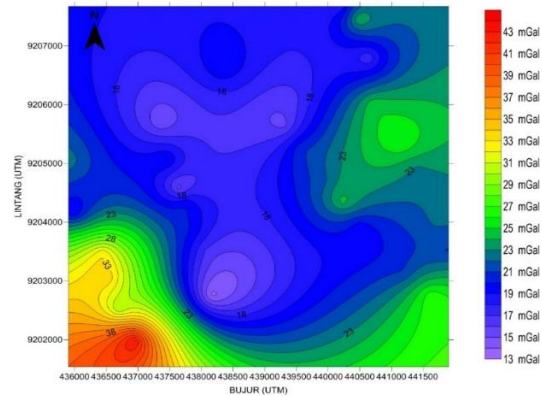
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Secara umum, interpretasi kualitatif terhadap anomali Bouguer (Gambar 4) memberikan hasil bahwa nilai anomali pada daerah penelitian berkisar antara 20 mGal – 26,5 mGal. Pada line 1 di titik pengukuran GA08 - GA10 menunjukkan nilai anomali yang tinggi berkisar 25,5 mGal – 26,5 mGal nilai anomali tersebut diperkirakan pada daerah tersebut memiliki densitas batuan yang tinggi. Sementara nilai anomali rendah ditunjukkan pada area sekitar manifestasi panas bumi berupa air panas baik pada Derekan dan Diwak berkisar antara 21-21,5mGal.

Berdasarkan gambar 5 peta anomali Bouguer yang di *overlay* dengan geologi daerah penelitian menunjukkan bahwa pada daerah penelitian menunjukkan adanya sesar yang berarah baratdaya – timurlaut. Hal ini diperkuat dengan perbedaan nilai anomali Bouguer rendah disisi utara dan tinggi disisi selatan. Kondisi ini memungkinkan adanya sesar turun disisi utara dan sesar naik disisi selatan. Apabila ditinjau dari pola kontur anomali Bouguer (Gambar 5) terdapat pola kontur (positif dan negatif) yang lebih rapat disisi barat yang mengindikasikan adanya sesar dari arah baratlaut – tenggara. Selain itu, juga terlihat pola kontur (positif dan negatif) disisi timur yang tidak begitu tajam. Hal tersebut mengindikasikan adanya sesar yang berarah sesuai dengan peta geologi. Melihat dua kondisi kemungkinan adanya sesar pada kontur anomali Bouguer ditambah dengan informasi geologi dapat diarik sebuah pendugaan bahwa arah sesar berarah baratdaya-timurlaut.

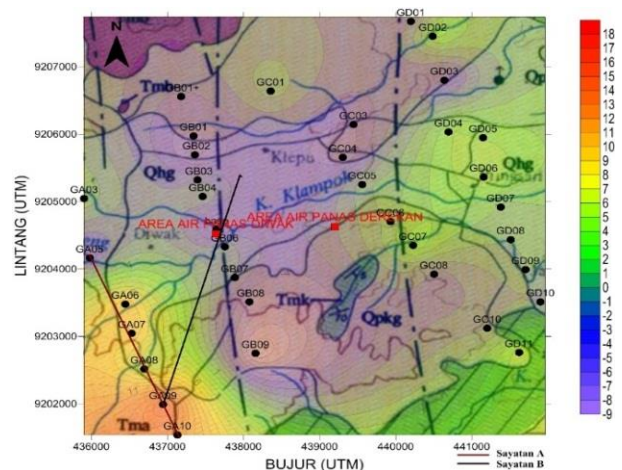
Interpretasi kuantitatif dilalukan dengan membuat pemodelan menggunakan *software Grav2dc*, dengan masukan berupa posisi dan profil nilai anomali gravitasi proses pemodelan struktur bawah permukaan cukup sulit dilakukan. Pemodelan dilalukan membuat profil model pengamatan yang sesuai profil model yang sebenarnya. Pemodelan dapat dikatakan benar atau sesuai jika model profil pengamatan sama

dengan model profil yang sebenarnya yang dintadai dengan besarnya nilai *error*. Nilai *error* yang semakin kecil menandakan model yang telah dibuat semakin akurat.



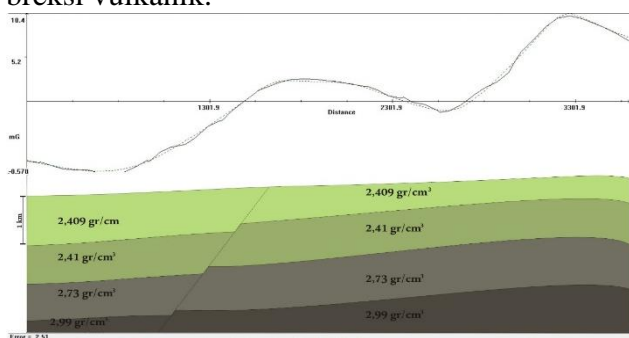
**Gambar 4** Kontur Anomali Bouguer Lengkap

Pemodelan digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan dari profil anomali gravitasi yang dihasilkan, sehingga dapat dilakukan interpretasi kuantitatif. Pada penelitian ini dibuat 2 sayatan. Dalam melakukan sayatan perlu diperhatikan bahwa sayatan melalui nilai positif dan negatif. Sayatan A yang dibuat dari arah barat laut kearah selatan (gambar 5) dari titik GA03 menuju GA010. Sedangkan sayatan B disayat melalui daerah manifestasi air panas Diwak menuju ketitik GA09.



**Gambar 5** Kontur Anomali Bouguer Lengkap di Topografi Daerah Penelitian

Gambar 6 menunjukkan ada 4 lapisan batuan yang memiliki nilai densitas yang berbeda-beda dan dari gambar tersebut dapat terlihat adanya sesar. Pada lapisan pertama dan kedua memiliki densitas yang hampir sama sehingga dianggap merupakan memiliki jenis batuan yang sama, dengan mengacu pada geologi daerah penelitian densitasnya  $2,409-2,41 \text{ gr/cm}^3$  yang merupakan batuan sedimen yang berasal dari batuan gajahmungkur yang memiliki ketebalan lapisan  $1,7 \text{ km}$ . Lapisan dengan densitas  $2,409 \text{ gr/cm}^3$  ketebalan lapisannya sekitar  $1 \text{ km}$  sedangkan lapisan dengan densitas  $2,41 \text{ gr/cm}^3$  memiliki ketebalan sekitar  $0,7 \text{ km}$ . Pada lapisan ketiga dengan densitas  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  masih berasal dari batuan gajahmungkur dengan jenis batuan andesit. Ketebalan lapisan ketiga sekitar  $0,84 \text{ km}$ . Pada lapisan keempat memiliki nilai densitas batuan  $2,99 \text{ gr/cm}^3$  dengan ketebalan sekitar  $0,7 \text{ km}$ . Lapisan keempat tersebut diduga berasal dari formasi batuan kaligetis yang berupa batuan breksi vulkanik.



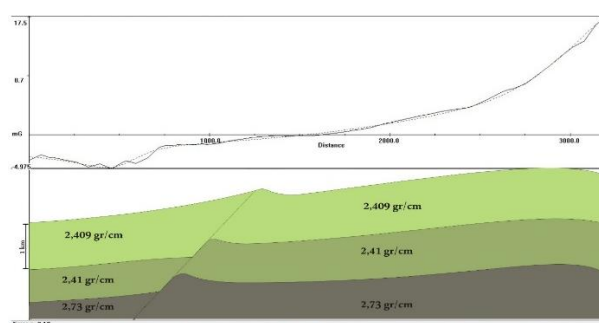
**Gambar 6** Pemodelan 2D Data Gravitasi pada Sayatan A

Pada pemodelan sayatan A terlihat adanya sesar hal ini diperkuat adanya kenampakan di daerah penelitian berupa sungai (Kali Jumbleng).

Pemodelan sayatan B pada gambar 7 menunjukkan ada 3 lapisan batuan yang memiliki nilai densitas yang berbeda-beda dan dari gambar tersebut dapat terlihat adanya sesar yang pada kenampakan di permukaan merupakan Sungai Jumbleng. Pemodelan sayatan B serupa dengan pemodelan pada sayatan A. Dimana, pada lapisan pertama dan kedua memiliki densitas yang hampir sama sehingga dianggap merupakan memiliki jenis batuan yang sama, dengan mengacu pada

geologi daerah penelitian densitasnya  $2,409-2,41 \text{ gr/cm}^3$  yang merupakan batuan sedimen yang berasal dari batuan gajahmungkur. Pada lapisan ketiga dengan densitas  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  masih berasal dari batuan gajahmungkur dengan jenis batuan andesit.

Pada pemodelan terlihat adanya sesar hal ini diperkuat adanya kenampakan di daerah penelitian berupa sungai (Kali Jumbleng) yang berada di area air panas Diwak.



**Gambar 7** Pemodelan 2D Data Gravitasi pada Sayatan B

Berdasarkan pemodelan kedua sayatan A dan B menunjukkan adanya sesar di wilayah Diwak dan Derekan dimana sesar tersebut merupakan sesar turun, dengan bagian turun di sebelah utara dan bagian naik di sebelah selatan. Dengan kenampakan sungai yang berada di daerah penelitian yang membentang dari barat daya menuju timur laut, sehingga diduga sesar mengarah barat daya ke timur laut hasil. Struktur geologi bawah permukaan pada daerah panas bumi sangat dipengaruhi oleh faktor pengontrol keluarnya fluida panas bumi. Asosiasi zona retakan dengan sesar yang akan menyalurkan fluida panas bumi ke permukaan merupakan faktor penting dalam sistem panasbumi. Zona sesar yang berada di daerah Diwak dan Derekan merupakan media jalan keluar fluida panas bumi ke permukaan. Berdasarkan gambar 5 dan gambar pemodelan sayatan A (gambar 6) dan pemodelan sayatan B (gambar 7) dapat disimpulkan bahwa letak *heat source* berada di daerah selatan daerah penelitian.

Fluida panas bumi yang muncul di permukaan bercampur dengan air sungai, karena di atas zona sesar terdapat sungai dengan jumlah air yang berlimpah. Hal ini menyebabkan kadar fluida panasbumi menjadi sama dengan air permukaan, sehingga sering ditafsirkan bahwa fluida panas bumi tersebut merupakan aliran samping (*out flow*) dari sistem gunungapi di dekat daerah penelitian. Pendugaan ini tentu perlu dijelaskan lebih lanjut, sehingga didapatkan model geofisika yang dapat menggambarkan sistem panas bumi Diwak-Derekan dengan tepat.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data hingga pemodelan dapat diperoleh kesimpulan:

- 1) Struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian tersusun oleh 2 formasi batuan yaitu formasi batuan gajahmungkur dan formasi batuan kaligetas. Adanya bidang sesar yaitu sesar turun berada di sebelah utara yang merupakan di wilayah Diwak-Derekan yang berarah baratdaya-timurlaut.
- 2) Struktur bawah permukaan di wilayah Diwak-Derekan berada pada zona sesar, yang merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem panas bumi daerah tersebut dan letak *heat source* diinterpretasikan di bagian selatan daerah penelitian.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si serta Ir. Sugeng Widada yang telah memberi arahan dan bantuan dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susanti, Nova, 2011, *Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika*, Tesis, Jakarta: Universitas Indonesia.
- [2] Bodvarsson, G.S. and Witherspoon, P.A., 1989, "Geothermal reservoir engineering -

*Part I, Geothermal Science and Technology*, 2 (1), 1-69.

- [3] Gaffar, E.Z., Dadan, D.W. dan Djedi, S.W., 2007, Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panasbumi, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 8, No.2, 98-118.
- [4] White, D.E., 1967, *Some Principles of Geyser Activity, Mainly from Steamboat Springs*. Nevada
- [5] Hochstein, M.P. (1990), "Classification and Assessment of Geothermal Resources." In: Dickson MH and Fanelli M (eds) Small geothermal resources, NITAEW NDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 31-59.
- [6] Jacobs, J.A., Russel, R.D., Wilson, J.T., 1974. *Physics and Geology*. New York: Mc Graw-Hill Book Company
- [7] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge: Cambridge University press.
- [8] LaFehr, T.R., 1980, November, *Gravity Method: Geophysics*, Vol. 45, No. 11, 1634-1639